مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال چهاردهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱
ص ۳۶۹-۳۵۵
*مقاله پژوهشی*

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.313303.1810
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20086113.1401.14.4.1.3

# ذخیرهٔ آب و پراکنش ریشه در عمق‌های مختلف خاک در جنگلکاری‌های زبان‌گنجشک و پیسه‌آ

**مرضیه اسماعیلی[۱]، احسان عبدی [۲*]، محسن محسنی ساروی [۳] و الیاس حیاتی [۴]**

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
[۲] دانشیار، گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
[۳] استاد، گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
[۴] پژوهشگر، گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳)

## چکیده

ذخیرهٔ آب خاک در جنگل تا حد زیادی تحت تأثیر روابط متقابل پوشش گیاهی و خاک قرار دارد. در مدیریت جامع‌نگرانه می‌توان با شناخت صحیح این روابط و توجه به اهمیت نگهداشت آب خاک، حفظ تعادل هیدرولوژیک مطلوب در جنگل را تضمین کرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف و ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی و سیستم ریشه‌دوانی آنها انجام گرفت. با استفاده از داده‌های درصد رطوبت حجمی خاک و داده‌های پراکنش ریشهٔ دو گونهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ جنگلکاری‌شده، ذخیرهٔ آب خاک به‌صورت جداگانه برای عمق‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری و همچنین برای پروفیل یک متری تعیین شد. سپس با تعیین درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه در لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری تا عمق یک متری خاک، ارتباط ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف با پراکنش ریشهٔ دو توده بررسی شد. برای بررسی وجود و نبود اختلاف معنی‌دار بین ذخیرهٔ آب خاک و پراکنش ریشه تحت تأثیر عمق‌ها و گونه‌های مختلف از آزمون‌های غیرپارامتری فریدمن و من‌ویتنی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روند کاهشی پراکنش ریشه و روند افزایشی ذخیرهٔ آب خاک با افزایش عمق تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک با سرعت و شیب تندتری اتفاق می‌افتد و از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک تقریباً کم و ثابت می‌ماند. براساس این پژوهش، مقدار ذخیرهٔ آب در بیشتر عمق‌های بررسی‌شده و همچنین برای پروفیل یک متری خاک، در تودهٔ پیسه‌آ به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن در تودهٔ زبان‌گنجشک است.

**واژه‌های کلیدی:** بیلان آب خاک، پوشش گیاهی، توزیع ریشه، رطوبت خاک، هیدرولوژی خاک.

## مقدمه

ذخیرهٔ آب خاک[۱] حلقهٔ مهمی در چرخهٔ هیدرولوژی است که ضمن کنترل رواناب سطحی با تأمین رطوبت لازم برای رشد مناسب و تعرق کافی درختان و در نهایت تشکیل رطوبت جوی، چرخهٔ آب را در مقیاس هیدرولوژی جنگل تکمیل می‌کند (Liu et al., 2021). در چرخهٔ هیدرولوژی، ذخیرهٔ آب خاک به‌عنوان جزء ضروری توسط عوامل متنوعی شامل اقلیم (بارندگی، دما، باد و ...)، خاک (بافت خاک، مواد آلی، تخلخل، تراکم، دانسیتهٔ خاک و ...)، توپوگرافی و خصوصیات کاربری زمین و پوشش گیاهی تغییرپذیر است (Jia et al., 2017). با توجه به ناهمگنی عوامل اشاره‌شده، ذخیرهٔ آب خاک به‌طور چشمگیری در زمان و مکان متغیر است و تخمین و ارزیابی آن چالشی در علوم هیدرولوژی و خاک به شمار می‌رود (Zucco et al., 2014). در بین عوامل اشاره‌شده، پوشش گیاهی ارتباط بیشتری با فعالیت‌های

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴
ایمیل: abdie@ut.ac.ir

1. Soil Water Storage

انسانی دارد و با توجه به افزایش روزافزون این فعالیت‌ها، پوشش گیاهی از نظر کمی و کیفی همواره در حال تغییر است (Kazemi Talkouyee et al., 2019). بنابراین انتظار می‌رود که مقدار ذخیرهٔ آب خاک در نتیجهٔ تغییر در ترکیب پوشش گیاهی، سریع‌تر و به‌طور ملموس‌تری مشهود است. در بین انواع مختلف پوشش‌های گیاهی علفی، درختچه‌ای و درختی، درختان جنگلی به دلیل استفادهٔ زیاد از آب، باران‌ربایی و همچنین ریشه‌دوانی عمیق‌تر - که خود ممکن است سبب جذب و تخلیهٔ بیشتر آب ذخیره‌شده در لایه‌های عمیق خاک شود- از اهمیت بیشتری در مقایسه با دیگر گیاهان برخوردارند (Hayati et al., 2018; Jian et al., 2015; Kordrostami et al., 2020).

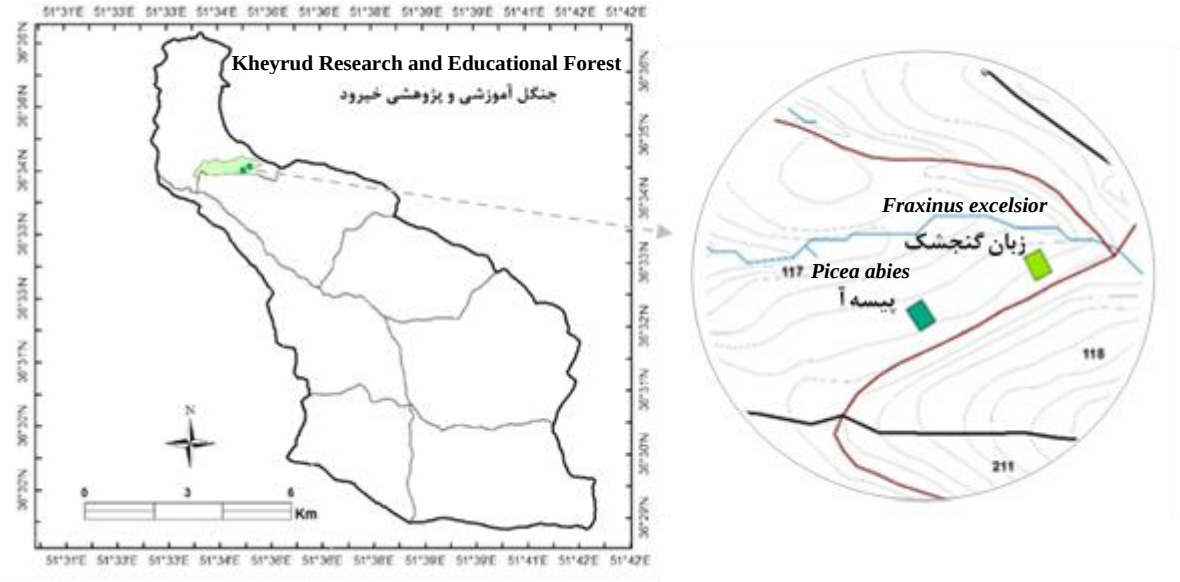
گونه‌های مختلف درختی از طریق فرایندهای باران‌ربایی و تبخیر و تعرق توسط بخش روی زمینی[1] و همچنین با گسترش ریشه در بخش زیرزمینی موجب ایجاد جریان‌های ترجیحی[2] آب درون خاک و تغییر در مقدار ذخیرهٔ آب در لایه‌های مختلف خاک می‌شوند (Duan et al., 2016; Jost et al., 2012; Zucco et al., 2014). با وجود این دانش عمومی، هنوز شناخت صحیح و کمّی از رابطهٔ بین نوع پوشش گیاهی و مقدار آب ذخیره‌شده در خاک فراهم نشده است. شناخت صحیح از این رابطه، نگهداری آب خاک و حفظ تعادل هیدرولوژیک مطلوب در جنگل را تضمین می‌کند (Zheng et al., 2015; Delfan Azari et al., 2018). بنابراین با تحقیقات بیشتر در زمینهٔ ارتباط نوع پوشش گیاهی با مقدار ذخیرهٔ آب خاک، می‌توان به اثر پوشش‌های گیاهی مختلف بر رطوبت خاک پی برد. در این زمینه، پژوهش‌های بسیار اندک و جسته و گریخته‌ای صورت گرفته که نمی‌توان نتیجه‌گیری جامعی از آنها انتظار داشت. برای مثال، شبیه‌سازی بارش‌های شدید در مقیاس قطعه نمونه در توده‌های نوئل (*Picea abies* (L.) Karst.) و راش (*Fagus sylvatica* L.) نشان داد که در تودهٔ نوئل با سیستم ریشه‌ای سطحی، ذخیرهٔ آب خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین بیشتر از عمق ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متری از سطح زمین بوده است. در تودهٔ راش با سیستم ریشه‌ای عمیق، آب بیشتری به قسمت‌های عمیق‌تر خاک نفوذ کرده است (Jost et al., 2012). البته شایان ذکر است که نتیجهٔ پژوهش ایشان تنها در حالت بارش‌های شدید صدق می‌کند، زیرا در شرایط طبیعی و با بارش‌های تدریجی و با شدت کم، انتظار نفوذ سریع آب به عمق‌های کمتر کاهش خواهد یافت یا ریشه‌های عمیق‌تر گیاه از این آب استفاده خواهند کرد و در نتیجه برایند حاصل ممکن است متفاوت باشد. همچنین بررسی ذخیرهٔ آب خاک و سیستم ریشه‌دوانی در توده‌های دو، شش، ده و پانزده‌سالهٔ عناب (*Ziziphus jujuba* Mill.) نشان داد که ذخیرهٔ آب خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در همهٔ توده‌ها پس از وقوع بارندگی به‌طور چشمگیری افزایش یافته و در لایه‌های زیر ۶۰ سانتی‌متری تغییری در ذخیرهٔ آب خاک مشاهده نشده است (Li et al., 2017). همان‌طور که اشاره شد به‌دلیل هزینه و زمان‌بر بودن این‌گونه تحقیقات، پژوهش‌های اندکی به این مهم پرداخته‌اند یا پژوهش‌های صورت‌گرفته محدود به شرایط خاصی از بارش و در دامنهٔ بسیار کوتاهی صورت گرفته‌اند که نمی‌توان به نتیجه‌گیری جامعی دست یافت. از این‌رو این پژوهش به بررسی تأثیر تغییرات پوشش‌های درختی جنگل بر مقدار ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف می‌پردازد. به این منظور، دو تودهٔ مختلف جنگلکاری گونهٔ زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) و پیسه‌آ (*Picea abies* (L.) H.Karst.) در مجاور هم با شرایط رویشگاهی مشابه (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه، نوع خاک، زمین‌شناسی و ...) انتخاب و با ثابت نگه داشتن شرایط رویشگاه، وضعیت سیستم ریشه‌دوانی و ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف و ارتباط این دو با یکدیگر بررسی شد.

1. Above-ground
2. Preferential flow

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ پژوهش

به‌منظور بررسی مقدار ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف و ارتباط آن با نوع پوشش گیاهی و سیستم ریشه‌دوانی آنها، به داده‌های بارش و رطوبت خاک و همچنین پراکنش ریشهٔ درختان در عمق‌های مختلف خاک و همچنین اطلاعات خاک‌شناسی منطقه نیاز است. بعد از بررسی در زمینهٔ انتخاب دامنه‌های مشابه با ویژگی مدنظر این پژوهش، دو دامنهٔ مجاور جنگلکاری‌شده در پارسل ۱۱۷ بخش پاتم در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود واقع در شرق شهر نوشهر انتخاب شد (شکل ۱). دامنه‌های مذکور دارای شرایط محیطی یکسان ولی با پوشش‌های درختی متفاوت بودند که یکی با گونهٔ زبان‌گنجشک و دیگری با گونهٔ پیسهآ در سال ۱۳۶۵ جنگلکاری شده بود. تراکم پایه‌های درختی برای تودهٔ زبان‌گنجشک ۹۵۴ پایه در هکتار و برای تودهٔ پیسهآ ۱۰۳۳ پایه در هکتار بود. همچنین طبق بررسی صورت‌گرفته، درصد تاج‌پوشش برای هر دو توده بیش از ۹۰ درصد است. براساس گزارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهر نوشهر، میانگین سالیانهٔ بارش ۱۱۹۲ میلی‌متر و میانگین سالیانهٔ دما ۱۵/۸ درجهٔ سانتی‌گراد و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه ۸۱۵/۲۴ میلی‌متر است. شیب دامنه در دو توده به‌ترتیب ۱۵ و ۱۶ درجه و جهت هر دو دامنه به‌سمت شمال غربی و ارتفاع از سطح دریا ۷۵۰ متر است.



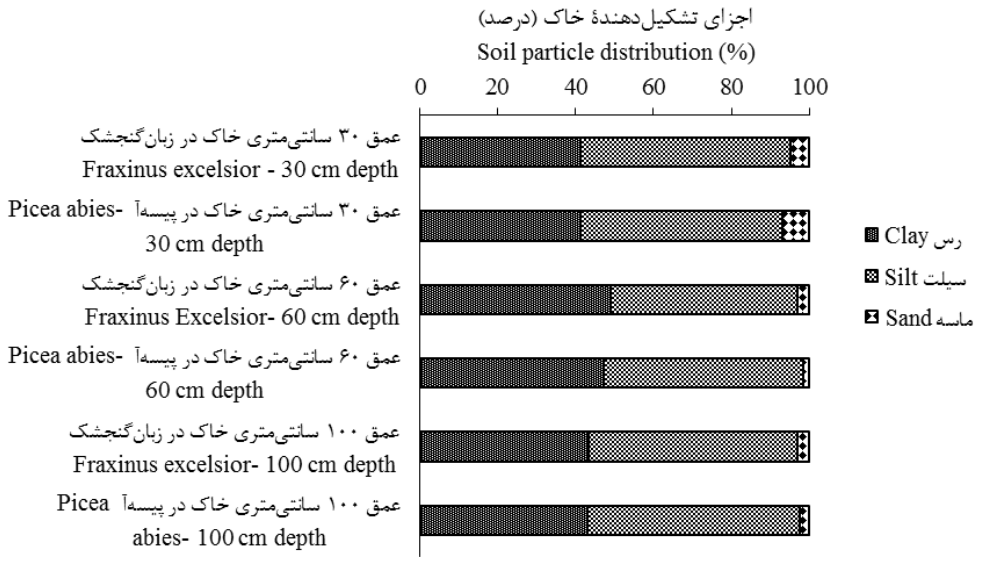

شکل ۱- موقعیت منطقهٔ پژوهش در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود

Figure 1. Location of the study site in Kheyrud Research and Educational Forest

براساس پژوهش‌های خاک‌شناسی، درصد اجزای تشکیل‌دهندهٔ خاک برای سه عمق ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در هر دو دامنه در شکل ۲ نشان داده شده است. بافت خاک برای سه عمق در هر دو دامنه با روش پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا[1] و از روی مثلث بافت خاک در طبقهٔ رسی- سیلتی[2] قرار گرفت. دانسیتهٔ خاک برای سه عمق ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری به‌ترتیب در دامنهٔ زبان‌گنجشک ۱/۳۸، ۱/۲۵ و ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در دامنهٔ پیسهآ ۱/۳۹، ۱/۳۵ و ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

1. United States Department of Agriculture (USDA)

2. Silty Clay




شکل ۲- درصد اجزای تشکیل‌دهندهٔ خاک برای سه عمق در دو دامنهٔ تحت پژوهش

Figure 2. Percentage of soil particle distribution for three soil depths in the two studied hillslopes

## شیوهٔ اجرای پژوهش

برای محاسبهٔ ذخیرهٔ آب خاک، از داده‌های خام رطوبت خاک که در عمق‌های مختلف ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در دامنه‌های مدنظر اندازه‌گیری شده بودند استفاده شد. در هر دامنه، داده‌های درصد رطوبت حجمی خاک[1] برای نه نقطه (که به روش نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک تعیین شده بودند) به‌صورت روزانه و برای یک دورهٔ نه‌ماهه با استفاده از دستگاه PR2/6 profile probe (Delta-T devices) اندازه‌گیری شدند (Hayati et al., 2018). دستگاه استفاده‌شده قادر به اندازه‌گیری رطوبت در عمق ۱۰ سانتی‌متر نیز است، اما به‌دلیل دست‌خوردگی خاک در لایهٔ سطحی از داده‌های این لایه چشم‌پوشی شد.

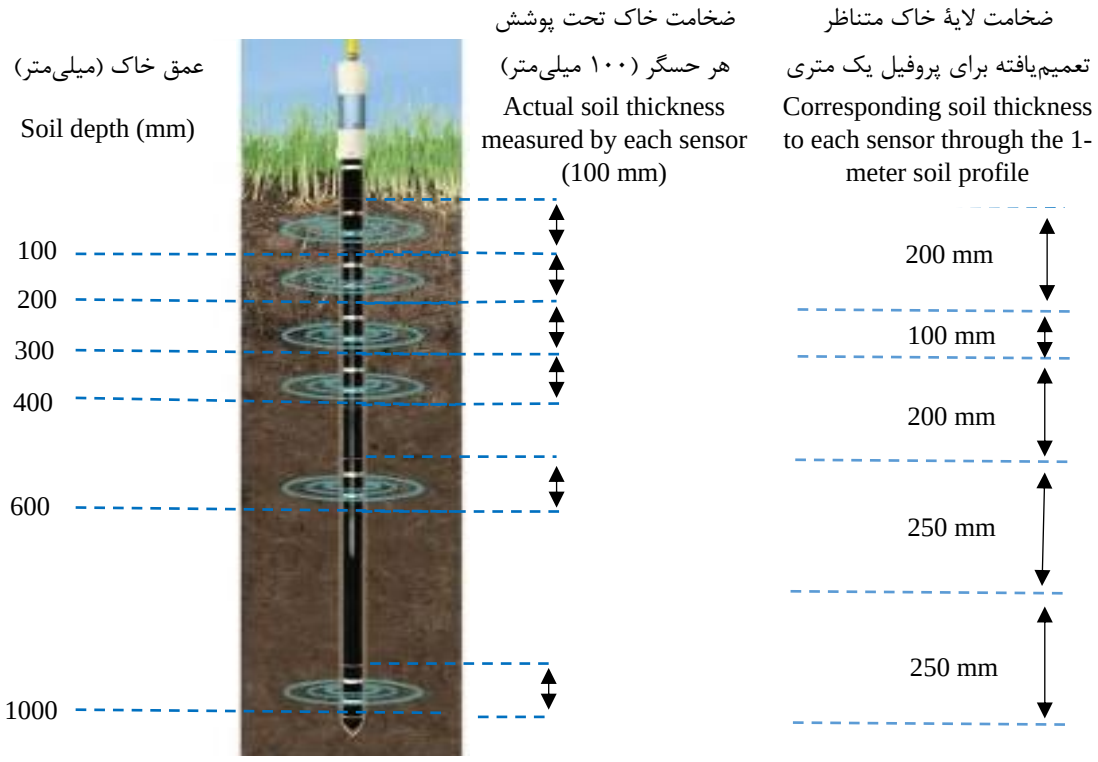
با توجه به اینکه هدف این پژوهش تعیین مقدار ذخیرهٔ آب خاک با در نظر گرفتن همهٔ شرایط متغیر در شرایط طبیعی است، سعی شد داده‌هایی انتخاب شوند که نمایندهٔ همهٔ روزهای قبل از بارش، حین بارش و بعد از بارش باشند. پس از تعیین داده‌های رطوبت لازم، ضخامت لایهٔ خاک متناظر برای هر یک از عمق‌های اندازه‌گیری‌شده تعیین شد. تعیین ضخامت لایهٔ متناظر برای رطوبت‌های اندازه‌گیری‌شده این امکان را فراهم کرد تا افزون‌بر تعیین ذخیرهٔ آب خاک برای هر عمق به‌صورت جداگانه، ذخیرهٔ آب خاک برای پروفیل یک متری که به‌طور معمول بیشینهٔ عمق ریشه‌دوانی برای بسیاری از گونه‌های درختی در منطقهٔ پژوهش در نظر گرفته می‌شود (Abdi et al., 2010) نیز تعیین و تغییرات آن بررسی شود. شکل ۳ نمونه‌ای از حسگر رطوبت‌سنج PR2/6 profile probe را نشان می‌دهد. هر یک از حسگرها می‌تواند رطوبت ستون خاکی به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر را اندازه‌گیری کند.

برای تعیین ذخیرهٔ آب خاک برای هر عمق از رابطهٔ ۱ استفاده شده است (IAEA, 2008).

$$SWS = \frac{VWC}{100} \times D$$ رابطهٔ ۱

که در آن SWS ذخیرهٔ آب خاک (ارتفاع آب) برحسب میلی‌متر، VWC رطوبت حجمی خاک و D ضخامت لایهٔ خاک متناظر برحسب میلی‌متر است. در این رابطه مقدار D برای هر عمق با توجه به قرارگیری حسگرهای اندازه‌گیری دستگاه PR2/6، ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

1. Volumetric Water Content




شکل ۳- موقعیت حسگرهای دستگاه PR2/6 profile probe و ضخامت لایهٔ خاک تحت پوشش هر حسگر (تصویر دستگاه از وب‌سایت شرکت سازنده Delta – T Devices)

Figure 3. Position of the six sensors of PR2/6 profile probe and their measuring soil depths (source of the image: Delta -T devices)

به‌منظور تعیین ذخیرهٔ آب خاک برای پروفیل یک متری در هر توده، باید رطوبت‌های موجود برای عمق‌های اندازه‌گیری‌شده به دیگر عمق‌ها (مانند عمق‌های ۵۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰) تعمیم داده شود. به‌این منظور از داده‌های مربوط به نزدیک‌ترین حسگر به‌این عمق‌ها استفاده شده که در نتیجه هنگام محاسبهٔ ذخیرهٔ آب خاک برای پروفیل یک متری، ضخامت لایه‌های متناظر برای برخی از حسگرها بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است (شکل ۳). با توجه به قرارگیری موقعیت حسگرهای اندازه‌گیری رطوبت در دستگاه استفاده‌شده، ضخامت لایهٔ متناظر برای عمق‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۲۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ذخیرهٔ آب خاک برای پروفیل یک متری در هر توده در طول دورهٔ پژوهش با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه شد (Duan et al., 2016; IAEA, 2008).

$$SWS_t = \sum_{i=1}^{5} SWS_i \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

که در آن $SWS_t$ ذخیرهٔ آب خاک (ارتفاع آب) برحسب میلی‌متر برای پروفیل یک متری و $SWS_i$ ذخیرهٔ آب (ارتفاع آب) برحسب میلی‌متر در هر عمق یا لایهٔ متناظر خاک i است.

به‌منظور بررسی ارتباط بین مقدار ذخیرهٔ آب خاک با پراکنش ریشهٔ درختان در عمق‌های مختلف، تعداد ریشه در عمق‌های مختلف و همچنین درصد سطح ریشه به سطح خاک[1] برای هر یک از عمق‌ها تعیین شد. برای بررسی پراکنش ریشه از داده‌های قطر ریشهٔ درختان در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر که با استفاده از روش حفر پروفیل در بالادست و پایین‌دست سه پایهٔ درختی از توده‌ها (در مجموع دوازده دیوارهٔ

1. Root Area Ratio

پروفیل) جمع‌آوری شده بودند استفاده شد (Esmaiili et al., 2021).

با استفاده از داده‌های مربوط به قطر ریشهٔ درختان، تعداد ریشه‌ها و همچنین درصد سطح ریشه به سطح خاک در عمق‌های مختلف خاک در دوازده دیواره پروفیل برای هر توده محاسبه شد (رابطهٔ ۳) (Genet et al., 2008).

$$RAR = \frac{A_r}{A_s} \times 100$$ رابطهٔ ۳

که در آن RAR درصد سطح ریشه به سطح خاک، $A_r$ مساحت اشغال‌شده توسط ریشه‌ها و $A_s$ مساحت خاک است.

## روش تحلیل

همهٔ تجزیه‌وتحلیل‌های این پژوهش در محیط نرم‌افزارهای SPSS 21 و Minitab 19 انجام گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی و سپس آنالیز مناسب برای تحلیل داده‌ها انتخاب و اجرا شد. ذخیرهٔ آب خاک، درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه‌ها بین عمق‌های مختلف خاک در هر توده با استفاده از آزمون غیرپارامتری فریدمن و ذخیرهٔ آب خاک، درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه‌ها بین توده‌های مختلف با استفاده از آزمون غیرپارامتری من‌ویتنی بررسی شد.

## نتایج

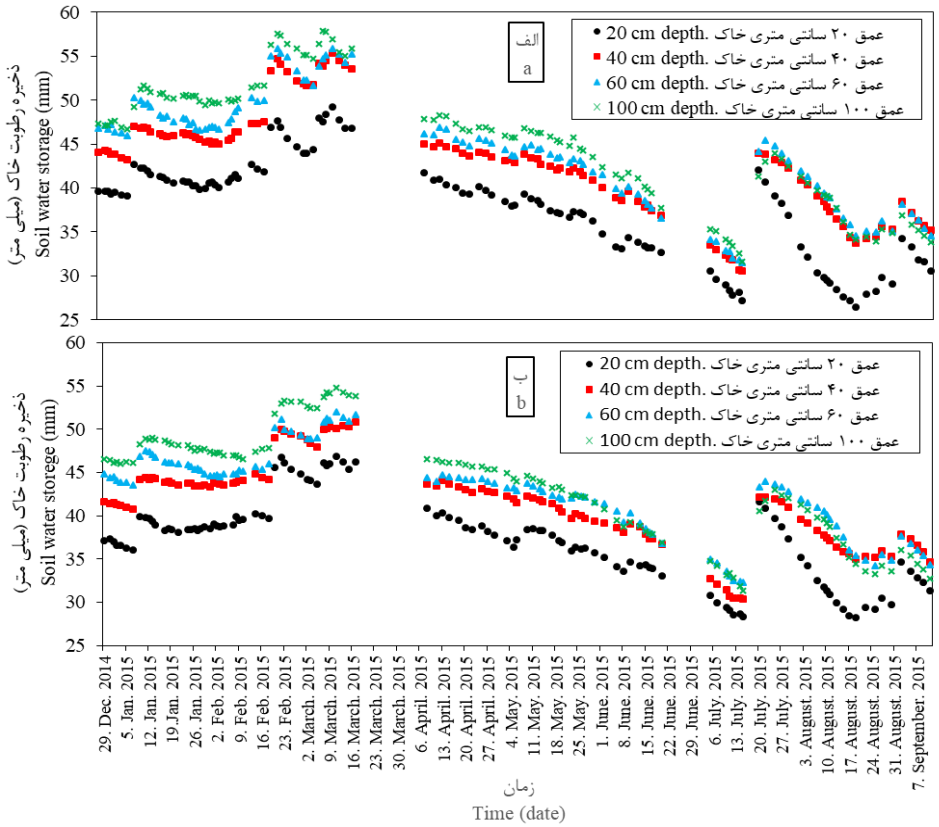
براساس نتایج در هر دو توده، میانگین ذخیرهٔ آب خاک با افزایش عمق افزایش می‌یابد (شکل ۴). در تودهٔ زبان‌گنجشک، در ۸۰ درصد روزها، بیشترین ذخیرهٔ آب خاک در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده شد و در ۹۳ درصد روزها، کمترین مقدار ذخیرهٔ آب خاک مربوط به عمق ۲۰ سانتی‌متری بود. در تودهٔ پیسه‌آ در ۶۷ درصد روزها، بیشترین ذخیرهٔ آب خاک در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری و در ۷۹ درصد روزها کمترین ذخیرهٔ آب خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری ثبت شد.

کمینه، بیشینه و درصد ضریب تغییرات ذخیرهٔ آب خاک در هر عمق برای دو توده در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج آزمون غیرپارامتری فریدمن حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در ذخیرهٔ آب خاک بین عمق‌های مختلف در تودهٔ زبان‌گنجشک (Chi- Square = ۲۸۶/۱۷، df = ۳، Asymp. Sig. (2-tailed) = ۰/۰۰۰) و تودهٔ پیسه‌آ (Chi-Square = ۲۷۱/۶۷، df = ۳، Asymp. Sig. (2-tailed) = ۰/۰۰۰) است. نتایج مقایسهٔ میانگین ذخیرهٔ آب خاک بین عمق‌های مختلف در دو توده در جدول ۲ آورده شده است که نشان می‌دهد بیشترین مقدار ذخیرهٔ آب خاک در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار آن در عمق ۲۰ سانتی‌متری است.

نتایج آزمون غیرپارامتری من‌ویتنی نشان داد که در ذخیرهٔ آب خاک بین دو توده در عمق ۲۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در سه عمق ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). در این سه عمق مقدار ذخیرهٔ آب خاک در تودهٔ زبان‌گنجشک بیشتر از تودهٔ پیسه‌آ است که مقدار میانگین آنها در جدول ۲ آورده شده است.

تغییرات ذخیرهٔ آب خاک پروفیل یک متری در دو توده در شکل ۵ نشان داده شده است. کمینه و بیشینهٔ مقدار ذخیرهٔ آب خاک پروفیل یک متری برای تودهٔ زبان‌گنجشک به‌ترتیب ۳۰۱/۷۷ و ۵۳۹/۸۱ میلی‌متر و برای تودهٔ پیسه‌آ ۳۰۵/۳۳ و ۵۰۶/۷۴ میلی‌متر به‌دست آمد.




شکل ۴- ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف در توده‌های زبان‌گنجشک (الف) و پیسهآ (ب)

Figure 4. Soil water storage at different depths of soil in (a) *Fraxinus excelsior* and (b) *Picea abie*s plantations

جدول ۱- کمینه، بیشینه و درصد ضریب تغییرات ذخیرهٔ آب خاک در هر عمق (میلی‌متر) برای دو توده

Table 1. Minimum, maximum and coefficient of variation (%) for the soil water storage at each depth (mm) for the two plantations

| عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm) | زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior* | | | پیسهآ *Picea abies* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کمینه Minimum | بیشینه Maximum | ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%) | کمینه Minimum | بیشینه Maximum | ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%) |
| 20 | 26.37 | 49.17 | 14.95 | 28.18 | 46.80 | 12.73 |
| 40 | 30.55 | 55.28 | 13.61 | 30.35 | 50.77 | 11.48 |
| 60 | 31.47 | 55.81 | 13.91 | 32.24 | 51.97 | 11.19 |
| 100 | 31.58 | 57.80 | 15.07 | 31.26 | 54.73 | 13.95 |

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین ذخیرهٔ آب خاک بین عمق‌های مختلف در دو توده (میانگین ± اشتباه معیار) (حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار است ($p < ۰/۰۵$))

Table 2. Comparison of mean soil water storage between different soil depths in the two plantations (mean ± standard error) (different letters are significantly different ($p < 0.05$))

| جنگلکاری Plantation | ذخیرهٔ آب خاک (میلی‌متر) Soil water storage (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | عمق ۲۰ سانتی‌متر 20 cm depth | عمق ۴۰ سانتی‌متر 40 cm depth | عمق ۶۰ سانتی‌متر 60 cm depth | عمق ۱۰۰ سانتی‌متر 100 cm depth |
| زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior* | 37.85 ± 0.53 [a] | 43.08 ± 0.54 [b] | 44.38 ± 0.57 [c] | 45.59 ± 0.64 [d] |
| پیسهآ *Picea abies* | 37.20 ± 0.44 [a] | 41.46 ± 0.44 [b] | 42.88 ± 0.44 [c] | 43.84 ± 0.57 [c] |

جدول ۳- مقایسهٔ ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف خاک بین دو توده

Table 3. Comparison of soil water storage at different soil depths between the two plantations

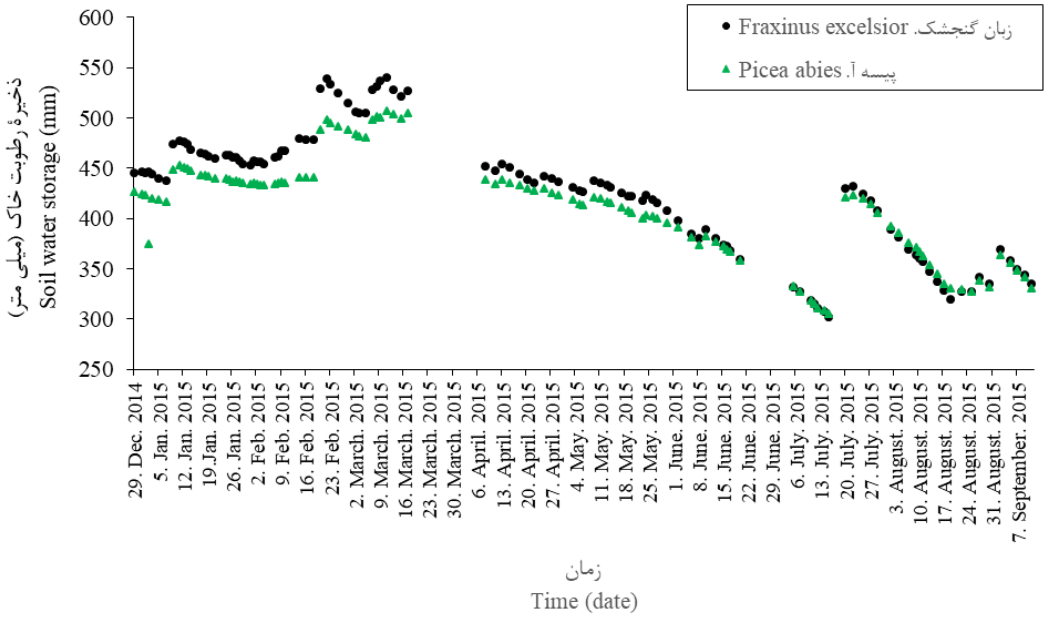
| عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm) | z | Asymp. Sig. (2-tailed) |
|---|---|---|
| 20 | -1.89 | 0.058 ns |
| 40 | -2.653 | 0.008 * |
| 60 | -2.373 | 0.018 * |
| 100 | -2.160 | 0.031 * |

* Significantly different

* تفاوت معنی‌دار

ns Not significantly different

ns تفاوت غیر معنی‌دار




شکل ۵- ذخیرهٔ آب خاک پروفیل یک متری در دو تودهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ

Figure 5. Soil water storage for the 1-meter soil profile in *Fraxinus excelsior* and *Picea abie* plantations

نتایج آزمون غیرپارامتری من‌ویتنی نشان داد که ذخیرهٔ آب خاک پروفیل یک متری در تودهٔ زبان گنجشک (۵/۷۲ ± ۴۲۶/۹۴ میلی‌متر) (میانگین ± اشتباه معیار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تودهٔ پیسه آ (۴/۷۱ ± ۴۱۲/۲۰ میلی‌متر) است (Z = -۲/۵۵۲، Asymp. Sig. (2-tailed) = ۰/۰۱۲).

نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. به‌طوری که در تودهٔ زبان‌گنجشک، ۸۸ درصد از درصد فراوانی تراکمی درصد سطح ریشه به سطح خاک و ۶۲ درصد از درصد فراوانی تراکمی تعداد ریشه در عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متری خاک و در تودهٔ پیسه‌آ، ۹۳ درصد از درصد فراوانی تراکمی درصد سطح ریشه به سطح خاک و ۶۱ درصد از درصد فراوانی تراکمی تعداد ریشه در عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متری خاک وجود دارد.

نتایج آزمون غیرپارامتری فریدمن حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در درصد سطح ریشه به سطح خاک بین عمق‌های مختلف در تودهٔ زبان‌گنجشک (Chi-Square = ۷۷/۷۸۳، df = ۹، Asymp. Sig. (2-tailed)) = ۰/۰۰۰) و تودهٔ پیسه‌آ (Chi-Square = ۶۱/۶۶۴، df = ۹، Asymp. Sig. (2-tailed) = ۰/۰۰۰) و همچنین وجود اختلاف معنی‌دار در تعداد ریشه بین عمق‌های مختلف در تودهٔ زبان‌گنجشک (۸۲/۱۷۹ =

Asymp. Sig. (2- = ۰/۰۰۰، df = ۹، Chi-Square (tailed) و تودهٔ پیسهآ (Chi-Square = ۶۵/۹۸۵، df =۹، Asymp. Sig. (2-tailed) = ۰/۰۰۰) است. نتایج مقایسهٔ میانگین درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه بین عمق‌های مختلف خاک در دو توده در جدول ۴ آورده شده است که نشان می‌دهد بیشترین مقدار درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه در عمق ۱۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار آنها در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری است.

نتایج آزمون غیرپارامتری من‌ویتنی نشان داد که در درصد سطح ریشه به سطح خاک بین دو توده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۵). همچنین این نتایج نشان داد که در تعداد ریشه بین دو توده در عمق‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد و از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۵). در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری خاک تعداد ریشه در تودهٔ زبان‌گنجشک بیشتر از تودهٔ پیسهآ است که مقدار میانگین آنها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه بین عمق‌های مختلف خاک دو توده (میانگین ± اشتباه معیار) (حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار است (p < ۰/۰۵))

Table 4. The comparison of mean Root Area Ratio (RAR) and the number of roots between different soil depths in the two plantations (mean ± standard error) (different letters are significantly different (p < 0.05))

| عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm) | درصد سطح ریشه به سطح خاک Root Area Ratio (%) | | تعداد ریشه Number of roots | |
|---|---|---|---|---|
| | زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior* | پیسهآ *Picea abies* | زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior* | پیسهآ *Picea abies* |
| 10 | 1.30 ± 0.34 [a] | 2.59 ± 0.65 [a] | 41.91 ± 4.90 [a] | 24.41 ± 3.53 [a] |
| 20 | 0.31 ± 0.18 [a] | 0.48 ± 0.27 [ab] | 19.00 ± 3.05 [ab] | 4.83 ± 0.75 [ab] |
| 30 | 0.06 ± 0.03 [ab] | 0.12 ± 0.08 [ac] | 12.58 ± 2.04 [ac] | 3.33 ± 0.77 [ac] |
| 40 | 0.03 ± 0.02 [ac] | 0.02 ± 0.009 [ab] | 8.16 ± 1.48 [ad] | 4.25 ± 0.88 [ab] |
| 50 | 0.05 ± 0.03 [ab] | 0.005 ± 0.002 [ac] | 5.75 ± 1.52 [bcde] | 3.83 ± 0.75 [ac] |
| 60 | 0.03 ± 0.02 [ab] | 0.05 ± 0.02 [ac] | 4.25 ± 0.89 [bcde] | 2.75 ± 0.79 [bc] |
| 70 | 0.016 ± 0.015 [bc] | 0.004 ± 0.002 [bc] | 2.41 ± 0.70 [cde] | 1.83 ± 0.75 [bc] |
| 80 | 0.008 ± 0.004 [bc] | 0.008 ± 0.006 [bc] | 2.50 ± 1.17 [cde] | 2.00 ± 1.29 [bc] |
| 90 | 0.001 ± 0.0007 [bc] | 0.0007 ± 0.0005 [c] | 1.33 ± 0.52 [de] | 0.58 ± 0.49 [c] |
| 100 | 0.0001 ± 0.0001 [c] | 0.0000 ± 0.00001 [c] | 0.16 ± 0.16 [e] | 0.08 ± 0.08 [c] |

جدول ۵- مقایسهٔ درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه در عمق‌های مختلف خاک بین دو توده

Table 5. Comparison of Root Area Ratio (RAR) and the number of roots in different soil depths between the two plantations

| عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm) | درصد سطح ریشه به سطح خاک Root Area Ratio (%) | | تعداد ریشه Number of roots | |
|---|---|---|---|---|
| | z | Asymp. Sig. (2-tailed) | z | Asymp. Sig. (2-tailed) |
| 10 | -1.501 | 0.133 [ns] | -2.399 | 0.016 [*] |
| 20 | -1.097 | 0.273 [ns] | -3.477 | 0.001 [*] |
| 30 | -1.501 | 0.133 [ns] | -3.310 | 0.001 [*] |
| 40 | -0.115 | 0.908 [ns] | -1.887 | 0.059 [ns] |
| 50 | -1.732 | 0.083 [ns] | -0.759 | 0.448 [ns] |
| 60 | -0.116 | 0.907 [ns] | -1.277 | 0.220 [ns] |
| 70 | -0.412 | 0.681 [ns] | -1.066 | 0.286 [ns] |
| 80 | -0.722 | 0.470 [ns] | -0.688 | 0.491 [ns] |
| 90 | -1.150 | 0.250 [ns] | -1.260 | 0.208 [ns] |
| 100 | -0.060 | 0.952 [ns] | -0.060 | 0.952 [ns] |

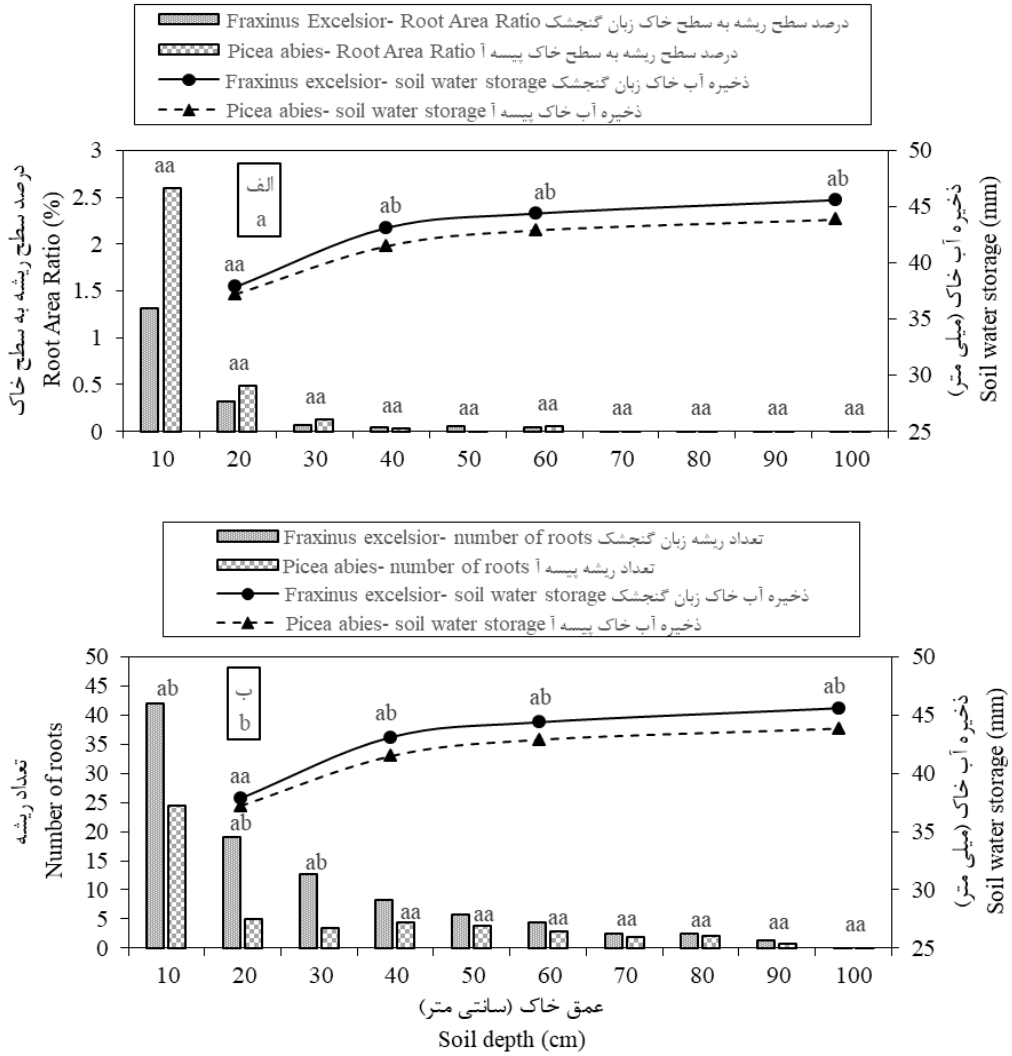
[*] Significantly different

[ns] Not significantly different

[*] تفاوت معنی‌دار

[ns] تفاوت غیرمعنی‌دار

شکل ۶ نحوهٔ تغییرات پراکنش ریشه (درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه) همراه با مقدار ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف برای دو توده را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشان می‌دهد که روند کاهشی پراکنش ریشه و روند افزایشی ذخیرهٔ آب خاک با افزایش عمق تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک با سرعت و شیب تندتری اتفاق می‌افتد و از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک تقریباً کم و ثابت می‌ماند.




شکل ۶- تغییرات درصد سطح ریشه به سطح خاک (الف) و تعداد ریشه (ب) با ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف خاک در دو توده (حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین دو توده در هر عمق است ($p < ۰/۰۵$))

Figure 6. Variation of (a) Root Area Ratio (RAR) and (b) number of roots with soil water storage at different depths in the two plantations (at each depth, different letters are significantly different ($p < 0.05$))

**بحث**

این پژوهش نشان داد که مقدار ذخیرهٔ آب خاک به‌طور معنی‌داری با افزایش عمق خاک، افزایش می‌یابد. بیشترین و کمترین مقدار ذخیرهٔ آب خاک به‌ترتیب در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری و ۲۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد. Vankatesh et al. (2011) در پژوهش خود بیشترین مقدار ذخیرهٔ آب خاک را در عمیق‌ترین لایه یعنی ۱۵۰ سانتی‌متری خاک بیان کرده‌اند. Hayati et al. (2018) دلیل کمینه بودن ذخیرهٔ آب خاک در لایه‌های سطحی را تراکم زیاد ریشهٔ درختان در این لایه‌ها می‌دانند که به تخلیهٔ بیشتر و سریع‌تر آب توسط ریشه‌های درختان منجر

می‌شود و همچنین تبخیر آب به دلیل وجود انرژی بیشتر در این لایه‌ها را عامل دیگری برای این موضوع می‌دانند. همچنین Zhang & Shangguan (2016) دلیل اختلاف در روند توزیع ذخیرهٔ آب خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف را تفاوت در پراکنش ریشهٔ گیاهان دانسته‌اند که موجب تغییر در مقدار جذب آب ریشه و همچنین تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک (تخلخل، دانسیتهٔ خاک) با عمق می‌شود. نتایج این تحقیق در شکل ۶ نیز به‌خوبی بیانگر این موضوع است و نشان می‌دهد که تراکم ریشه و ذخیرهٔ آب خاک با افزایش عمق از ۲۰ سانتی‌متر به ۴۰ سانتی‌متر به‌یکباره و همزمان با روند معکوس تغییر می‌کنند.

نتایج نشان داد که ذخیرهٔ آب خاک بین دو تودهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ در عمق ۲۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری ندارد، ولی در عمق ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این سه عمق مقدار ذخیرهٔ آب خاک در تودهٔ زبان‌گنجشک بیشتر از تودهٔ پیسه‌آ است. با توجه به ویژگی‌های محیطی یکسان در هر دو توده، دلیل وجود اختلاف معنی‌دار در عمق‌های ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک را می‌توان عملکرد دو توده در زمینهٔ کاهش ذخیرهٔ آب خاک دانست. این عمل ممکن است از طریق رایش تاجی و در نتیجه کاهش مقدار آب ورودی به خاک صورت گیرد یا از طریق جذب آب خاک توسط ریشه باشد. با توجه به نبود اختلاف معنی‌دار بین دو توده از نظر تراکم ریشه در عمق‌های بیش از ۴۰ سانتی‌متر، می‌توان دلیل اصلی این اختلاف را باران‌ربایی بیشتر تودهٔ پیسه‌آ ذکر کرد. اغلب در منابع اشاره شده که مقدار باران‌ربایی در بین سوزنی‌برگان بیشتر از پهن‌برگان است (Sadeghi et al., 2016). بنابراین با کاهش مقدار آب ورودی به خاک به‌دلیل باران‌ربایی، آب کمتری در اختیار لایه‌های عمیق‌تر خاک قرار خواهد گرفت. Li et al. (2017) نشان دادند که ذخیرهٔ آب خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در همهٔ توده‌ها پس از وقوع بارندگی به‌طور چشمگیری افزایش یافته و در لایه‌های زیر ۶۰ سانتی‌متری تغییری در ذخیرهٔ آب خاک مشاهده نشده است که نشان می‌دهد ذخیرهٔ آب خاک در لایه‌های سطحی بیشتر تحت تأثیر بارندگی است. البته این نکته در مناطقی که بارش سالیانه از نیاز آبی سالیانه گیاه بیشتر باشد حائز اهمیت است و در مناطق با بارش کم یا مناطقی که بارش سالیانه از توزیع یکنواختی برخوردار نیست، تأثیر پوشش گیاهی در رژیم رطوبتی لایه‌های سطحی خاک چشمگیر خواهد بود.

طبق نتایج، درصد ضریب تغییرات ذخیرهٔ آب خاک در دو توده در عمق‌های ۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری بیشترین مقدار خود را داشته است. Fang et al. (2016) اشاره کردند که ضریب تغییرات ذخیرهٔ آب خاک روندهای متفاوتی را با افزایش عمق نشان می‌دهد. طبق نتایج آنها، بیشترین مقدار آن در دامنهٔ عمقی ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری خاک و ۴۸۰ تا ۵۰۰ سانتی‌متری خاک و کمترین مقدار آن در دامنهٔ عمقی ۲۶۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد. تغییرات چشمگیر ذخیرهٔ آب خاک در لایه‌های سطحی که در این پژوهش ۲۰ سانتی‌متر است دور از انتظار نیست، چراکه در این لایه به‌محض بارش اولین واکنش‌های هیدرولوژیک برای افزایش ذخیرهٔ آب مشاهده خواهد شد و پس از بارش نیز ذخیرهٔ آب در این لایه زودتر در معرض تبخیر و یا استفادهٔ گیاه قرار خواهد گرفت و به‌سرعت رو به کاهش خواهد رفت.

ذخیرهٔ آب خاک پروفیل یک متری بین دو تودهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ اختلاف معنی‌داری دارد و مقدار آن در تودهٔ پیسه‌آ کمتر از تودهٔ زبان‌گنجشک است. با توجه به یکسان بودن شرایط محیطی و نبود اختلاف معنی‌دار در نفوذ و پراکنش ریشه‌های بین دو توده، دلیل این اختلاف را می‌توان به وجود تاج‌پوشش و مقدار آب مصرفی این دو گونه و باران‌ربایی متفاوت آنها نسبت داد (Hayati et al., 2018).

این پژوهش نشان داد که در دو توده، درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه به‌طور معنی‌داری با

افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد که با پژوهش Genet et al. (2008) مطابقت دارد. در این پژوهش بیشترین درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک دیده شد. Bischetti et al. (2005) دلیل این کاهش را کاهش مواد غذایی و هوا در لایه‌های عمیق خاک بیان کرده‌اند.

این پژوهش نشان داد که درصد سطح ریشه به سطح خاک بین دو تودهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ اختلاف معنی‌داری ندارد. همچنین نتایج نشان داد که تعداد ریشه بین دو تودهٔ زبان‌گنجشک و پیسه‌آ در عمق‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری دارد، اما از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در این سه عمق تعداد ریشه در تودهٔ زبان‌گنجشک بیشتر از تودهٔ پیسه‌آ است. دلیل این اختلاف‌ها را می‌توان تفاوت در مواد غذایی و هوا در عمق‌های مورد نظر بین دو توده دانست.

همان‌طور که در شکل‌های پراکنش ریشه (درصد سطح ریشه به سطح خاک و تعداد ریشه) و ذخیرهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف مشخص است، تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک روند کاهشی پراکنش ریشه و روند افزایشی ذخیرهٔ آب خاک با افزایش عمق با سرعت و شیب تندتری اتفاق می‌افتد و از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک این روندهای کاهشی و افزایشی تقریباً کم و ثابت می‌شوند. Duan et al. (2016) نشان دادند که در همهٔ پوشش‌های گیاهی تحت بررسی، مقدار رطوبت خاک در عمق‌های ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری با سرعت بیشتری نسبت به عمق‌های ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری افزایش می‌یابد. Fang et al. (2016) نشان دادند که در عمق بیشتر از ۴۰ سانتی‌متری مقدار ذخیرهٔ آب خاک دارای نوسان‌هایی در طی زمان است، ولی در عمق ۸۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متری تقریباً با زمان ثابت است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، دامنهٔ تغییرات ذخیرهٔ آب خاک در لایه‌های سطحی خاک وسیع‌تر است و تغییرات سریع‌تر و بیشتری را می‌توان مشاهده کرد؛ اما مقدار این تغییرات با افزایش عمق کاهش می‌یابد. همچنین از نظر بررسی ارتباط تراکم ریشه و ذخیرهٔ آب خاک نیز می‌توان این نکته را در شکل ۶ مشاهده کرد که در آن تغییرات ناگهانی ذخیرهٔ آب خاک در لایهٔ سطحی مورد پژوهش (۲۰ سانتی‌متر) در مقایسه با دیگر لایه‌های خاک مشهود است. البته تغییرات سریع ذخیرهٔ آب خاک در لایه سطحی را نمی‌توان تنها به وجود تراکم زیاد ریشهٔ درختان در این لایه نسبت داد؛ زیرا به‌دلیل فراوانی بارش‌های خفیف و متوسط در منطقهٔ پژوهش، ذخیرهٔ آب در لایه‌های سطحی خاک به‌سرعت دچار تغییر می‌شود، درحالی که لایه‌های عمیق‌تر واکنشی نشان نخواهند داد.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد، مقدار ذخیرهٔ آب خاک در بیشتر عمق‌ها و نیز در مقیاس پروفیل، در تودهٔ پیسه‌آ به‌طور معنی‌داری کمتر از تودهٔ زبان‌گنجشک بوده است. با توجه به تشابه دو منطقه از نظر دیگر عوامل اثرگذار بر ذخیرهٔ آب، می‌توان اختلاف مشاهده‌شده را به عملکرد متفاوت دو گونه نسبت داد. در این زمینه می‌توان گفت تودهٔ پیسه‌آ در مقایسه با تودهٔ زبان‌گنجشک تأثیر بیشتری در کاهش ذخیرهٔ آب خاک داشته است. ازآنجا که تأثیر اصلی درختان بر ذخیرهٔ آب خاک از طریق فرایندهای «جذب ریشه و تعرق» و «باران‌ربایی و تبخیر» صورت می‌گیرد، با توجه به وضعیت یکسان پراکنش ریشه در توده‌ها، دلیل اصلی اختلاف را می‌توان باران‌ربایی ذکر کرد که پیشنهاد می‌شود ارتباط این مشخصه با تغییرات ذخیرهٔ آب خاک در پژوهش‌های آینده بررسی شود.

## سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه تهران جهت تامین هزینه-های این پژوهش و همچنین از همراهی کارکنان محترم جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود جهت پیشبرد این پژوهش کمال قدردانی را داریم.

**References**

Abdi, E., Majnouian, B., Genet, M., & Rahimi, H, (2010). Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability; a case study: hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran. *Ecological Engineering journal*, *36*, 1409-1416. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.020

Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Simonato, T., Speziali, B., Vitali, B., Vullo, P., & Zocco, A. (2005). Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*, *278*, 11-22. https://doi.org/10.1007/s11104-005-0605-4

Delfan Azari, N., Rostami Shahraji, T., Gholami, V., & Hashemi Garmdareh, S.E. (2018). An assessment of water requirement and investigation of different irrigation levels on growth parameters of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw) seedlings (case study: Tehran). *Iranian Journal of Forest*, *10*(2), 237-250.

Duan, L., Huang, M., & Zhang, L. (2016). Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, *537*, 356-366. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.057

Esmaiili, M., Abdi, E., Nieber, J.L., Jafary, M., & Majnounian, B. (2021). How roots of *Picea abies* and *Fraxinus excelsior* plantations contribute to soil strength and slope stability: evidence from a study case in the Hyrcanian forest, Iran. *Soil Research*, *59*, 287-298. https://doi.org/10.1071/SR20083

Fang, X., Zhao, W., Wang, L., Feng, Q., Ding, J., Lin, Y., & Zhang, X. (2016). Variations of deep soil moisture under different vegetation types and influencing factors in a watershed of the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, *20*, 3309-3323. https://doi.org/10.5194/hess-20-3309-2016

Genet, M., Kokutse, N., Stokes, A., Fourcaud, T., Cai, X., Ji, J., & Mickovski, S. (2008). Root reinforcement in plantations of *Cryptomeria japonica* D. Don: effect of tree age and stand structure on slope stability. *Forest Ecology and Management*, *256*, 1517-1526. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.050

Hayati, E., Abdi, E., Mohseni Saravi, M., Nieber, J.L., Majnounian, B., & Chirico, G.B. (2018). How deep can forest vegetation cover extend their hydrological reinforcing contribution?. *Hydrological Processes*, *32*(16), 2570-2583. https://doi.org/10.1002/hyp.13174

IAEA, (2008). Field estimation of soil water content. A practical guide to methods, instrumentation and sensor technology. *Training Course Series No. 30*. International Atomic Energy Agency. Vienna. Austria.

Jia, X., Shao, M., Zhu, Y., & Luo, Y. (2017). Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, *546*, 113-122. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.011

Jian, S., Zhao, C., Fang, S., & Yu, K. (2015). Effects of different vegetation restoration on soil water storage and water balance in the Chinese Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, *206*, 85-96. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.009

Jost, G., Schume, H., Hager, H., Markart, G., & Kohi, B. (2012). A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. *Journal of Hydrology*, *420-421*, 112-124. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.057

Kazemi Talkouyee, A., Jourgholami, M., Abbaspour, K., & Feghhi, J. (2019). Simulation runoff and sediment yield in a harvested forest (Case study: Zailakirood Basin, northern Iran). *Iranian Journal of Forest*, *12*(1), 29-41.

Kordrostami, F., Attarod, P., Bozorg-Haddad, O., Etemad, V., Abbaspour, K.C., & Ludwig, R. (2020). Evaluation of hydrological response of Latian Dam watershed to afforestation in semi-arid climate. *Iranian Journal of Forest*, *11*(1), 89-100.

Li, L., Gao, X., Wu, P., Zhao, X., Li, H., Ling, Q., & Sun, W. (2017). Soil water content and root patterns in a rain-fed jujube plantation across stand ages on the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, *28*, 207-216. https://doi.org/10.1002/ldr.2540

Liu, X., Tang, Y., Cheng, X., Jia, Z., Li, C., Ma, S., Zhai, L., Zhang, B., & Zhang, J. (2021). Comparison of changes in soil moisture content following rainfall in different subtropical plantations of the Yangtze River delta region. *Water*, *13*, 914, 1-22. https://doi.org/10.3390/w13070914

Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., & Pypker, T.G. (2016). The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: a comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*, *568*, 845-855. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.048

Vankatesh, B., Lakshman, N., Purandara, B.K., & Reddy, V.B. (2011). Analysis of observed soil moisture patterns under different land covers in Western Ghats, India. *Journal of Hydrology*, *397*, 281-294. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.006

Zhang, Y.W., & Shangguan, Z.P. (2016). The change of soil water storage in three land use types after 10 years on the Loess Plateau. *Catena*, *147*, 87-95. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.036

Zheng, H., Gao, J., Teng, Y., Feng, C., & Tian, M. (2015). Temporal variations in soil moisture for three typical vegetation types in Inner Mongolia, Northern China. *Journal of PLoS ONE*, *10*, 1-16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118964

Zucco, G., Brocca, L., Moramarco, T., & Morbidelli, R. (2014). Influence of land use on soil moisture spatial–temporal variability and monitoring. *Journal of Hydrology*, *516*, 193-199. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.043

Iranian Journal of Forest
Vol. 14, No. 4, Winter 2023
pp. 355-369

***Research Article***

# Soil Water Storage and Root Distribution under *Picea abies* and *Fraxinus excelsior* Plantations

**M. Esmaiili[1], E. Abdi [2*], M. Mohseni Saravi[3], and E. Hayati[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2]Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3]Prof., Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[4]Researcher, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 6 November 2021; Accepted: 13 January 2022)

## Abstract

The interaction between forest vegetation and soil can highly affect the soil water balance. In a holistic approach, forest managers are expected to have a better understanding of these interactions and the importance of soil water conservation. This will certainly lead to a required hydrologic balance in the forests. This research aims at studying the amount of soil water storage at different depths and its connection with changes in vegetation types and their root distribution. To this aim, soil volumetric water content and root distribution data collected under *Picea abies* and *Fraxinus excelsior* plantations were used to determine the soil water storage for different soil layers including 20, 40, 60, and 100 cm. A cumulative water storage for the whole soil profile (1-meter profile) was also calculated. Afterwards, the number of roots and the Root Area Ratio (RAR) were determined for different layers of soil with a 10 cm interval. Ultimately, the connections between soil water storage at given layers of soils with their corresponding root numbers and RAR values were investigated for each forest plantation. Friedman and Mann-Whitney non-parametric tests were used to compare the means of soil water storage, number of roots, and RAR values at different layers of soils and plantations studied. According to the results, an increasing trend in soil water storage and a decreasing trend in root numbers (and RAR) can be observed with soil depths. However, both root distribution and soil water storage experience a rapid increase and decrease to a depth of 40 cm, and then the trends remain relatively constant. In most cases, soil water storage at different soil depths and for the 1-meter soil profile under *Picea abies* was significantly lower than that under *Fraxinus excelsior.*

**Keywords:** Root distribution, Soil hydrology, Soil moisture content, Soil water balance, Vegetation.

[*]Corresponding author Tel: +98 2632223044 Email: abdie@ut.ac.ir